

ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОСАПНОЇ СІВОЗМІНИ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ Й УДОБРЕННЯ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Малярчук Микола Петрович

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0002-0150-6121
mpmaliarchuk@gmail.com

Грановська Людмила Миколаївна

доктор економічних наук, професор
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0001-7021-3093
G-ludmila15@ukr.net

Писаренко Павло Володимирович

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0002-2104-2301
pavel_pisarenko74@ukr.net

Малярчук Анастасія Сергіївна

кандидат сільськогосподарських наук
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0001-5845-269x
maliarchukas@gmail.com

Томницький Анатолій Валентинович

кандидат сільськогосподарських наук
Інститут зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України, м. Херсон, Україна
ORCID: 0000-0002-7820-4383
izz.ua@ukr.net

У статті висвітлені результати експериментальних досліджень впливу різних способів і глибини основного обробітку ґрунту на фоні трьох систем удобрення у сівозміні на урожайність сільськогосподарських культур та енергетичну ефективність технологій їх вирощування.

Метою статті було встановлення впливу мінімізованого основного обробітку й органічних і органо-мінеральних систем удобрення на формування агрофізичних властивостей, водного режиму ґрунту та продуктивності 4-пільної сівозміни в умовах зрошення півдня України. Методи: польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальновідомих в Україні методик і методичних рекомендацій. Система основного диференційованого обробітку, що базується на безпліцевому мілкому обробітку, поєднаному з одним щільюванням за ротацію сівозміни на глибину 38–40 см, забезпечила зниження енергетичних витрат порівняно із різноглибинною оранкою на 53,5% і сприяла оптимізації агрофізичних властивостей і водного режиму ґрунту, створивши умови для реалізації генетично обумовленого потенціалу продуктивності сортів і гібридів.

У середньому за роки досліджень (2016–2020 рр.) встановлено, що найвищу урожайність культур сівозміни забезпечувало внесення добрив дозою $N_{120}P_{60}$ у розрахунку на один гектар сівозмінної площі, на фоні різноглибинної полицевої та диференційованої-1 систем основного обробітку. Так, урожайність зерна кукурудзи відповідно становила 14,44 та 14,82 т/га, сої – 4,31 і 4,34 т/га, пшениці озимої 6,81 та 6,90 т/га та сорго зернового – 7,09 і 7,70 т/га.

Найнижчі технологічні витрати встановлені у варіанті з дисковим розпушуванням на 12–14 см у системі безпліцевого мілкого одноглибинного основного обробітку ґрунту без внесення мінеральних добрив – 53,2 ГДж/га.

Найвищу продуктивність 8,43 т/га зерна й енергомісткість врожаю сільськогосподарських культур сівозміни 159,5 ГДж забезпечила диференційована-1 система основного обробітку з одним щільюванням (38–40 см) за ротацію на фоні органо-мінеральної системи удобрення з використанням побічної продукції культур сівозміни та розрахункової дози мінеральних добрив $N_{120}P_{60}$ на гектар сівозмінної площі з окупністю енергетичних витрат 2,05.

Ключові слова: система, спосіб і глибина обробітку ґрунту, щільність складення, водопроникність, енергоємність.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.5>

Вступ. Сільськогосподарська галузь – одна з провідних в економіці України, від її розвитку залежить рівень забезпеченості населення продуктами харчування та важливих галузей промисловості – сировиною. Удосконалення технологій вирощування, стійке нарощування обсягів виробництва, створення надійного фонду продуктів харчування – головні умови успішного виконання соціальної програми щодо підвищення рівня життя громадян України (Bezuhlyi & Prysiazhniuk, 2012).

Протягом останніх десятиріч відбулися суттєві зміни умов ведення землеробства на зрошуваних землях Південного Степу України, спостерігаються тенденції до аридизації клімату, змінилися організаційні умови господарювання, у виробництві застосовують нові високопродуктивні сорти та гібриди культур, що викликає необхідність перегляду підходів до формування інтенсивної системи зрошеного землеробства в Україні з урахуванням всього комплексу технологічних та агробіологічних вимог (Pysarenko, 2010; Vozhehova et al., 2013).

Багаторічними дослідженнями ефективності технологій вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях встановлено безперечну перевагу над неполивними землями навіть за мінімального рівня застосування агроресурсів. Так 25-річні дослідження ІЗЗ НААН свідчать, що приріст урожаю завдяки зрошенню становив: при вирощуванні пшениці озимої – 30,7 ц/га; кукурудзи на зерно – 27,3; сої – 18,7; кукурудзи на силос – 457 ц/га (Bazaliy et al., 2009; Lavrunenko et al., 2016; Parajuli et al., 2013; Kokovikhin et al., 2009).

Зона Степу України характерна нестійким природним зволоженням, а це не дає можливості в посушливі роки повною мірою використовувати потенційну родючість ґрунтів (Baliuk & Romashenko, 2006). Тому удосконалення наявних та економічне й енергетичне обґрунтування нових способів і систем основного обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах на зрошуваних землях є актуальним і потребує поглиблених експериментальних досліджень.

Основний обробіток ґрунту є одним із найважливіших агротехнічних заходів у технологіях вирощування, який бере участь у формуванні агрофізичних властивостей, водного і поживного режиму ґрунту та продуктивності сільськогосподарських культур (Ahmed Abed Gatea Al-Shammary et al., 2018; Gathala & Timsina, 2014).

Мета досліджень полягала у визначенні впливу органічних і органо-мінеральних систем удобрення за мінімізованого основного обробітку на закономірності формування агрофізичних властивостей, водного та поживного режиму ґрунту, урожайності сільськогосподарських культур і продуктивності 4-пільної просапної в умовах зрошення півдня України.

Матеріали та методи досліджень. У стаціонарному досліді Інституту зрошеного землеробства НААН України протягом 2016–2020 рр. у 4-пільній просапній сівозміні на Інгулецькій зрошувальній системі проводилися експериментальні дослідження зі встановлення ефективності застосування мінімізованих систем чизельного, дискового і диференційованого основного обробітку з використанням ґрунтообробних знарядь із різною кон-

струкцією робочих органів, які відрізнялися між собою глибиною розпушування, витратами непоновлюваної енергії та матеріальних ресурсів на їх виконання.

Землі експериментальної бази Інституту зрошеного землеробства НААН, де проводилися основні дослідження, розташовані у східній частині Білозерського району Херсонської області. Територія району розташована у північній частині Причорноморської низовини на правому березі р. Дніпро у межах верхньопліценової тераси (Mogozov, 2013).

Ґрунт дослідного поля темно-каштановий, середньосуглинковий, в орному шарі міститься гумусу 2,06%, загального азоту – 20,0, фосфору – 40,0 та калію – 300,0 мг/кг ґрунту, найменша вологоємність – 21,2%, вологість в'янення – 9,1%, рівноважна щільність складення – 1,41 г/см³, щільність твердої фази 2,61 г/см³ (Vozhehova et al., 2017).

На родючість впливають ущільненість ґрунтів, низькі водно-фізичні властивості, солонцюватість. Каштанові ґрунти є об'єктом зрошувальних меліорацій (Ushkarenko et al., 2010).

У польових дослідах висівали районовані для степової зони сорти та гібриди сільськогосподарських культур, занесені до «Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні». (<https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/reustr-sortiv-roslin>).

Закладання варіантів досліду основного обробітку виконували ґрунтообробними знаряддями в агрегаті із трактором Т-150 К: полицевий різноглибинний – плугом лемішним начіпним – ПЛН-5-35; безполицевий різноглибинний – плугом чизельним – ПЧ-2,5; дисковий і комбінований (дисковий із ґрунтопоглибленням) важкою дисковою бороною БДВП-3,0-01.

Агротехніка у дослідях загальноновизнана для культур сівозміни окрім факторів, що ставилися на експериментальне дослідження. Повторність у досліді 4-разова. Площа посівної ділянки – 742 м², облікової – 50,0 м²

У сівозміні досліджували п'ять систем основного обробітку ґрунту (Фактор А) з різними способами, прийомами та глибиною розпушування на фоні однієї органічної та двох органо-мінеральних систем удобрення.

Фактор А (обробіток ґрунту):

1. Система різноглибинного основного обробітку ґрунту з обертанням скиби із глибиною розпушування від 14–16 до 25–27 см.

2. Система різноглибинного основного обробітку ґрунту без обертання скиби з чизельним розпушуванням на таку саму глибину.

3. Система одноглибинного мілкого безполицевого обробітку ґрунту з дисковим розпушуванням на глибину 12–14 см.

4. Система диференційованого-1 обробітку ґрунту на фоні мілкого обробітку від 8 до 16 см із одним щількуванням за ротацію сівозміни на глибину 38–40 см.

5. Система диференційованого-2 обробітку ґрунту з однією оранкою за ротацію сівозміни на глибину 18–20 см.

Фактор В (система удобрення)

1. Органічна система удобрення – з використанням побічної продукції сільськогосподарських культур сівозміни.

2. Органо-мінеральна система удобрення із внесенням загальноновизнаних доз внесення мінеральних добрив: під кукурудзу на зерно – $N_{120}P_{60}$; під сорго зернове – $N_{60}P_{60}$; під сою – $N_{60}P_{60}$; під пшеницю озиму – $N_{90}P_{60}$, що у розрахунку на один гектар сівозмінної площі становить $N_{82,5}P_{60}$ + побічна продукція.

3. Органо-мінеральна система удобрення – із внесенням розрахункових доз мінеральних добрив: під кукурудзу на зерно – $N_{180}P_{60}$; під сорго зернове – $N_{120}P_{60}$; під сою – $N_{60}P_{60}$; під пшеницю озиму – $N_{120}P_{60}$ з дозою у розрахунку на один гектар сівозмінної площі $N_{120}P_{60}$ + побічна продукція.

Вологість шару ґрунту 0–50 см підтримувалася на рівні 70% НВ вегетаційними поливами, водами високої мінералізації з несприятливим співвідношенням одно- та двовалентних катіонів (поливні води Інгупецької зрошувальної системи за ДСТУ-2730:2015 (DSTU 2730:2015, 2016).

Під час експерименту застосовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальноновизнаних в Україні методик і методичних рекомендацій (Vozhehova et al., 2014).

Щільність складення орного шару встановлювали за методом ріжучих кілець (DSTU 4362:2004, 2004), водопроникність – методом заливних майданчиків у тригодинній експозиції з подальшим визначенням глибини промочування (DSTU 4362:2004, 2006). Сумарне водоспоживання посівів визначали методом водного балансу без урахування підживлення ґрунтовими водами (Vozhehova et al., 2013).

Пористість ґрунту визначалася у шарах ґрунту 0–10 см, 10–20, 20–30, 30–40 см за формулою:

$$P = (1 - \frac{W}{W_{тв.ф.}}), \text{ де}$$

P – пористість, %;

W – щільність складення ґрунту, г/см³;

$W_{тв.ф.}$ – щільність твердої фази ґрунту, г/см³.

Результати. Експериментальні системи основного обробітку істотно впливали на продуктивність праці, витрати непоновлюваної, як матеріалізованої, так і антропогенної, енергії. За систематичного проведення під усі культури сівозміни різноглибинної й одноглибинної мілкої системи основного обробітку без обертання

скиби витрати на їх виконання були меншими порівняно із системою різноглибинної оранки відповідно на 41,5 і 66,7%. Диференційовані за способами та глибиною системи основного обробітку ґрунту з одним щільванням та однією оранкою за ротацію сівозміни забезпечили зменшення енергетичних витрат відповідно на 53,5 і 46,7% (табл. 1).

Застосування для обробітку ґрунту знарядь із різною конструкцією робочих органів певною мірою впливає на весь комплекс агрофізичних властивостей ґрунту, у тому числі і на щільність складення, пористість і водопроникність.

Дослідженнями встановлено, що способи, прийоми та глибина обробітку мали істотний вплив на щільність складення. Так, на початку весняної вегетації найбільш близькими до оптимальних показників для культур сівозміни вони були за різноглибинних і диференційованої-1 систем обробітку (табл. 2). До збирання врожаю відбувається закономірне ущільнення ґрунту в усіх варіантах досліду, водночас найбільш істотним воно було у варіанті одноглибинного мілкого безполицевого обробітку.

Визначення щільності складення шару ґрунту 0–40 см під впливом різних систем основного обробітку ґрунту в сівозміні дало можливість встановити коливання досліджуваного показника у межах 1,26–1,32 г/см³ у період сходів. Найбільш розпушеним виявився шар ґрунту 0–40 см у варіантах диференційованої-1 і різноглибинного основного обробітку з обертанням скиби, де щільність складення становила 1,26 г/см³.

Застосування одноглибинного мілкого (12–14 см) дискового обробітку ґрунту в сівозміні призвело до зростання щільності складення на 0,06 г/см³, або на 4,8%.

Подібна закономірність відзначалася і перед збиранням урожаю. Тут також збереглася тенденція до ущільнення нижніх шарів ґрунту, за рахунок яких і формувалися підвищені показники щільності складення шару ґрунту 0–40 см у межах 1,28–1,34 г/см³.

Протягом вегетації різноглибинна полицева та диференційована-1 системи основного обробітку ґрунту забезпечили достатньо близький за щільністю складення орний шар, а безполицева мілка призвела до розмежування орного шару на більш розпушену верхню (0–15 см) його частину й ущільнену (15–40 см) нижню, що пояснюється концентрацією післяжнивних решток

Таблиця 1

Ресурсно-енергетична оцінка систем основного обробітку темно-каштанового ґрунту у 4-пільній просапній сівозміні на зрошенні

Основний обробіток ґрунту	Затрати праці, люд.год/га %	Витрати пального, кг/га %	Витрати непоновлюваної енергії,		
			усього, МДж/га %	антропогенної, МДж/га %	матеріалізованої, МДж/га %
Полицевий різноглибинний	1,0 100	20,4 100	1501,6 100	60,0 100	1441,6 100
Безполицевий різноглибинний	0,58 58,0	15,1 74,0	871,6 58,5	41,2 68,7	830,4 57,6
Безполицевий одноглибинний	0,33 33,0	9,8 48,8	499,4 33,3	24,1 40,2	475,3 33,0
Диференційо-ваний-1	0,47 47,0	12,6 61,7	697,7 46,5	33,4 55,7	664,3 46,1
Диференційо-ваний-2	0,53 53,0	13,5 66,1	800,0 53,3	38,7 64,5	761,3 52,8

у верхній частині орного шару за обробітку знаряддями дискового типу.

У прямій залежності від щільності складення орного шару знаходилася його пористість. Чим більш ущільнений був ґрунт за варіантами дослідів, тим нижчою була його пористість, що ускладнювало вбирання і фільтрацію води у зону розташування кореневої системи.

Результати експериментальних досліджень, отримані у досліді, свідчать про те, що у фазу сходів показники загальної пористості шару ґрунту 0–40 см були практично однаковими, хоча і спостерігалася тенденція до її підвищення у варіантах полицевого і безполицевого різноглибинних і диференційованого-1 основного обробітку ґрунту. Різниця між варіантами становила 1,3%.

Перед збиранням урожаю майже в усіх варіантах дослідів відзначається зниження пористості. У варіанті різноглибинного полицевого основного обробітку ґрунту загальна пористість була у межах оптимальних параметрів і становила 51,2%, тоді як у варіанті безполицевого мілкого одноглибинного обробітку вона знизилася до 48,7%, або на 4,9 відсотки порівняно з контролем.

Результати досліджень свідчать про те, що на водопроникність мають вплив способи основного обробітку ґрунту та глибина розпушування.

Більш високою водопроникністю формувалася у варіантах застосування систем диференційованого-1 і полицевого різноглибинного основного обробітку ґрунту та становила 4,3 мм/хв. Заміна оранки різноглибинним чизельним розпушуванням призвела до зниження водопроникності на 11,6%, а мілким дисковим – на 30,3% із показниками відповідно 3,8 і 3,0 мм/хв. На кінець вегетації культур сівозміни показники водопроникності знизилися порівняно із початковими, що пов'язано з ущільненням ґрунту під дією атмосферних опадів, поливної води, ходових систем тракторів і робочих органів ґрунтообробних знарядь.

Аналізуючи кількість використаної вологи залежно від способів, прийомів, глибини основного обробітку під

окремі культури та систем основного обробітку ґрунту в сівозміні, необхідно зазначити, що застосування диференційованого-1 обробітку ґрунту сприяло найбільшому використанню вологи з ґрунту – 1075 м³/га та сумарного водоспоживання 5329 м³/га у розрахунку на 1 га сівозмінної площі (табл. 3). За системи диференційованого-2 обробітку ґрунту з однією оранкою за ротацію цей показник знизився до 5192 м³/га, а за мілкого одноглибинного до 5093 м³/га, або відповідно на 3,6 та 4,4%.

Аналіз складників сумарного водоспоживання свідчить про те, що потреба у воді за варіантами обробітку ґрунту забезпечувалася на 18–22% за рахунок продуктивних запасів вологи у ґрунті, на 23–24% за рахунок атмосферних опадів і на 55–58% за рахунок поливної води. Найбільш ефективно використовувалася волога на створення однієї тони продукції у варіанті систем диференційованого-1 обробітку з показником – 1064 м³/т, тоді як за безполицевого мілкого (12–14 см) витрати води зростають до 1644 м³/т, або на 56,4%.

Зміни агрофізичних властивостей і водного режиму зумовили створення різних умов для росту та розвитку с.-г. культур і формування врожаю.

У середньому за роки досліджень встановлено, що найвищу урожайність культур сівозміни забезпечувало внесення добрив дозою N₁₂₀P₆₀ у розрахунку на один гектар сівозмінної площі, на фоні різноглибинної полицевої та диференційованої-1 систем основного обробітку. Так, урожайність зерна кукурудзи відповідно становила 14,44 і 14,82 т/га, сої – 4,31 та 4,34 т/га, пшениці озимої 6,81 та 6,90 т/га та сорго зернового – 7,09 та 7,70 т/га (табл. 4).

Застосування безполицевої мілкої одноглибинної та диференційованої-2 систем основного обробітку ґрунту (варіант 3, 5) призвело до істотного зниження урожайності всіх культур сівозміни.

Мілке (12–14 см) розпушування у системі тривалого застосування одноглибинного безполицевого обробітку

Таблиця 2

Агрофізичні властивості ґрунту за різних систем основного обробітку в сівозміні на зрошенні, середнє за 2016–2020 рр.

Показники	Строк визначення	Система обробітку ґрунту				
		полицева різноглибинна	безполицева різноглибинна	безполицева мілка одноглибинна	диференційована-1	диференційована-2
Щільність складення, г/см ³	сходи	1,26	1,28	1,32	1,26	1,30
	збирання	1,28	1,29	1,34	1,29	1,31
Сходи НІР ₀₅ , г/см ³ – 0,04; збирання НІР ₀₅ , г/см ³ – 0,03						
Пористість, %	сходи	51,9	51,2	49,3	51,9	50,3
	збирання	51,2	50,5	48,7	50,5	49,7
Сходи НІР ₀₅ , % – 1,2; збирання НІР ₀₅ , % – 1,0						
Водопроникність, мм/хв.	сходи	4,3	3,8	3,0	4,3	3,5
	збирання	3,7	3,2	2,4	3,9	2,9
Сходи НІР ₀₅ , мм/хв. – 0,5; збирання НІР ₀₅ , мм/хв. – 0,3						

Таблиця 3

Показники водного режиму ґрунту за різних систем основного обробітку в сівозміні на зрошенні

Показники	Системи основного обробітку ґрунту				
	полицева різноглибинна	безполицева різноглибинна	безполицева одноглибинна	диференційована-1	диференційована-2
Сумарне водоспоживання, м ³ /га	5294	5218	5093	5329	5192
Складові балансу:					
Використана волога з ґрунту, м ³ /га %	$\frac{1040}{20}$	$\frac{964}{18}$	$\frac{839}{16}$	$\frac{1075}{20}$	$\frac{938}{18}$
Опади, м ³ /га %	$\frac{1254}{24}$	$\frac{1254}{25}$	$\frac{1254}{25}$	$\frac{1254}{24}$	$\frac{1254}{24}$
Зрошувальна норма, м ³ /га %	$\frac{3000}{56}$	$\frac{3000}{57}$	$\frac{3000}{59}$	$\frac{3000}{56}$	$\frac{3000}{58}$
Коефіцієнт водоспоживання, м ³ /т	1134	1222	1664	1064	1242
Середньодобове випаровування, м ³ /га	46,4	45,8	44,6	46,8	45,5

Таблиця 4

Урожайність сільськогосподарських культур коротко-ротаційної сівозміни за різних систем основного обробітку ґрунту та доз внесення добрив, т/га

Система основного обробітку ґрунту (фактор А)	Система удобрення (фактор В)	Культура сівозміни				Середнє
		пшениця озима	кукурудза на зерно	соя	сорго зернове	
Полицева різноглибинна (контроль)	органічна - фон (контроль)	3,15	4,26	2,76	2,89	4,00
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	6,01	11,43	3,68	6,90	7,01
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,81	14,44	4,34	7,09	8,17
Безполицева різноглибинна	органічна	3,01	3,81	2,48	2,51	2,95
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	5,53	10,81	3,34	6,58	6,57
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,25	13,64	3,98	6,81	7,67
Безполицева одноглибинна мілка	органічна	2,70	3,05	1,77	2,04	2,39
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	5,26	8,16	2,41	4,59	5,11
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	5,91	10,08	2,83	4,76	5,90
Диференційована-1	органічна	3,24	4,46	2,81	3,03	3,39
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	6,08	11,81	3,79	7,51	7,30
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,90	14,82	4,31	7,70	8,43
Диференційована-2	органічна	2,89	3,73	2,40	2,54	2,89
	фон+ N _{82,5} P ₆₀	5,34	10,28	3,37	6,28	6,32
	фон+ N ₁₂₀ P ₆₀	6,13	13,01	3,94	6,43	7,38
NIP ₀₅ , т/га		A = 0,08 B = 0,11	A = 0,32 B = 0,23	A = 0,13 B = 0,15	A = 0,09 B = 0,25	

та без внесення мінеральних добрив призвело до формування найменшої врожайності культур сівозміни (від 1,77 т/га сої до 3,05 т/га кукурудзи).

Найвищі технологічні витрати встановлені у варіанті системи полицевого основного обробітку ґрунту з оранкою під культури сівозміни на глибину від 14–16 до 25–27 см і внесенні мінеральних добрив дозою N₁₂₀P₆₀ кг/га – 79,7 ГДж/га, тоді як найменші витрати енергії (53,2 ГДж/га) були на варіанті з дисковим розпушуванням на 12–14 см у системі безполицевого мілкового одноглибинного основного обробітку ґрунту без внесення мінеральних добрив.

Оцінюючи енергетичну ефективність технологій вирощування культур у сівозміні на зрошенні, можна зробити висновок, що вони всі достатньо ефективні, водно-

час максимальний енергетичний коефіцієнт на рівні 2,05 одержано при вирощуванні культур сівозміни за диференційованого-1 основного обробітку ґрунту та внесенні добрив дозою N₁₂₀P₆₀. Мінімальним (0,86) цей показник виявився за органічної системи удобрення у варіанті одноглибинного безполицевого обробітку на глибину 12–14 см (табл. 5).

Обговорення. Для вирішення проблеми оптимізації рівнів продуктивності сільськогосподарських культур у кожному полі сівозміни необхідно всебічно вивчати вплив зрошення та інших елементів технологій вирощування на стан штучних агроєкосистем (Aleksandrov et al., 2000; Saiko & Malieyenko, 2007; Boiko et al., 2004).

Використання для виробництва енергії переважно викопного органічного палива має наслідком збільшення

**Енергетична ефективність технології вирощування сільськогосподарських культур
за різних систем обробітку ґрунту й удобрення**

№ з.п.	Система обробітку ґрунту	Показники ефективності		
		затрати енергії, ГДж	вихід валової енергії, ГДж	ЕК
Органічна (побічна продукція)				
1	Полицева різноглибинна	57,8	62,9	1,10
2	Безполицева різноглибинна	56,4	57,0	1,01
3	Безполицева мілка	53,2	46,2	0,86
4	Диференційована-1	55,1	66,0	1,20
5	Диференційована-2	55,9	55,3	0,99
Органо-мінеральна (побічна продукція +N _{82,5} P ₆₀)				
1	Полицева різноглибинна	68,7	134,4	1,95
2	Безполицева різноглибинна	67,9	126,1	1,86
3	Безполицева мілка	66,1	98,2	1,49
4	Диференційована-1	67,0	135,6	2,02
5	Диференційована-2	66,8	121,3	1,81
Органо-мінеральна (побічна продукція +N ₁₂₀ P ₆₀)				
1	Полицева різноглибинна	79,7	156,8	1,97
2	Безполицева різноглибинна	78,2	147,6	1,89
3	Безполицева мілка	77,0	113,4	1,47
4	Диференційована-1	77,9	159,5	2,05
5	Диференційована-2	77,7	141,7	1,82

викидів шкідливих речовин і парникових газів, що може привести до катастроф екосистем нашої планети. Тож найважливішим напрямом, розвиток якого здатний стримувати зростаюче забруднення навколишнього середовища відходами енергетики, є енергозаощадження (Higogov, 2010).

Основним напрямком розвитку землеробства у південному регіоні на найближчу перспективу є розробка агрозаходів, спрямованих на накопичення, збереження та раціональне використання вологи ґрунту й опадів, як основи стабілізації виробництва рослинницької продукції на півдні. Значним резервом підвищення економічної ефективності зрошувального землеробства є оптимізація поливних режимів з урахуванням біологічних особливостей рослин, меліоративного стану земель, погодних умов вегетаційного періоду та ін. (Zhuikov & Dymov, 2004).

Результати багаторічних експериментальних досліджень свідчать про те, що в умовах зрошення на півдні України найбільш економічно вигідна й екологічно безпечна система диференційованого обробітку, що включає впродовж ротації сівозміни мілкий безполицевий обробіток ґрунту під сільськогосподарські культури степового еко типу (озимі, ярі зернові, багаторічні бобові трави й однорічні культури у проміжних посівах) із глибоким, безполицевим обробітком ґрунту під просапні культури (Markovs'ka, 2010).

Важливого значення набувають також питання ресурсозбереження в інтенсивних технологіях вирощування польових культур: способів і глибини основного обробітку ґрунту, систем удобрення із використанням побічної продукції культур сівозмін для підтримання рівноважного балансу гумусного стану ґрунту, сучасних підходів до системи обробітку ґрунту, запровадження біологічно оптимальних режимів зрошення, зокрема їх моделювання у цілісній технології, яка дозволяє істотно збіль-

шити продуктивність рослин за зменшення фінансових та енергетичних витрат (Kravchuk et al., 2013).

Позитивний вплив безполицевого і полицевого обробітку на продуктивність сільськогосподарських культур виявлено у багатьох наукових установах. За мінімізації обробітку ґрунту врожайність сільськогосподарських культур не лише не знижується, але й подеколи навіть збільшується за загального зменшення енерговитрат на обробіток (Kosolap & Krotynov, 2011; Bomba, 2007; Gathala et al., 2014).

Економічні аспекти ефективності систем обробітку ґрунту в конкретних аграрних підприємствах досліджували Ю.Л. Філімонов і В.М. Нагаєв (Filimonov & Nagaev, 2011), однак у більшості відомих нам досліджень зазвичай відсутній комплексний підхід до оцінки економічної ефективності саме цілісної нульової технології вирощування сільськогосподарських культур, а не лише окремих її складників. Як показали багаторічні дослідження (Hospodarenko, 2002; Hudz' et al., 2007) застосування закордонної техніки забезпечує економію коштів під час вирощування 5,4%, а із застосуванням вітчизняної техніки – 9,1% від виробничих витрат за традиційною технологією.

Використання ґрунтозахисного землеробства може привести до ущільнення ґрунту, особливо це стосується тих ґрунтів, де до цього застосовувалися неправильні методи обробітку та сівби. Регулювання строків сівби, способів обробітку, чергування культур, знання реакції ґрунту на різні системи та глибину обробітку, а також використання безполицевих або чизельних робочих органів може сприяти досягненню успіхів ґрунтозахисного землеробства. Використання покривних культур і сівозмін із проміжними (післяукісними та післяжнивними) посівами забезпечує зниження щільності складення ґрунту (Hrabak, 2003; Shykula et al, 1998).

З одного боку, мінімальний обробіток дозволяє скоротити виробничі витрати на його проведення на 15–20 %, у тому числі витрати пального на 30–35 %, підвищити продуктивність праці на 25–30 %, захистити ґрунт від вітрової та водної ерозії та деградації, підвищити вміст органічної речовини у верхньому шарі (0–10 см) і забезпечити однакову врожайність сільськогосподарських культур порівняно із традиційною оранкою. З іншого – необґрунтоване застосування мілкого (12–16 см) і поверхневого (6–8 см) основного обробітку із тривалим застосуванням знарядь дискового типу викликає різке підвищення щільності складення та зменшення пористості ґрунту, що призводить до погіршення водопроникності та зниження запасів продуктивної вологи у кореневмісному

шарі ґрунту за рахунок стоку води від атмосферних опадів і зрошення (Maliarchuk, 2012).

Висновки. Диференційована система основного обробітку ґрунту в 4-пільній просапній сівоzmіні на зрошуваних землях, за якої протягом ротації мілкий дисковий обробіток поєднується з одним щільуванням на глибину 38–40 см на фоні органо-мінеральної системи удобрення з внесенням мінеральних добрив дозою $N_{120}P_{60}$ у розрахунок на 1 га сівоzmінної площі та використанням всієї побічної продукції культур сівоzmіни, забезпечує формування оптимальних для росту і розвитку рослин агрофізичних властивостей, водного режиму ґрунту та продуктивності – 159,5 ГДж. і окупність витрат із енергетичним коефіцієнтом – 2,05.

Бібліографічні посилання:

1. Ahmed Abed Gatea Al-Shammary, Abbas Z. Kouzani, Akif Kaynak, Sui Yang Khoo, Michael Norton & Will Gates (2018). Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*. 28, 4, 2018, 581–596 doi: 10.1016/S1002-0160(18)60034-7
2. Aleksandrov, V.T., Hladii, M.V., Lavrov, E.M., & Rishniak, I.M. (2000). Zernovi ta khliboproduktiv tovarobih v Ukraini: Entsiklopedychnyi dovidnyk [Grain and bakery products turnover in Ukraine. Encyclopedic reference book]. Artek. Kyiv (in Ukrainian).
3. Bazalii, V.V., Kokovikhin, S.V., Pysarenko, P.V., & Mishukova, L.S. (2009). Vplyv riznykh vydiv polyviv na produktyvnist pshenytsi ozymoi v umovakh pivdnia Ukrainy [Influence of different types of irrigation on the productivity of winter wheat in the south of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 67, 93–102 (in Ukrainian).
4. Baliuk, S.A., Romashchenko, M. . (2006). Naukovi aspekty staloho rozvytku zroshennia zemel v Ukraini [Scientific aspects of sustainable development of land irrigation in Ukraine]. DIA, Kyiv, 32 (in Ukrainian).
5. Bezuhlyi, M.D., & Prysiazhniuk, M.V. (2012). Suchasnyi stan reformuvannia aharno-promyslovoho kompleksu Ukrainy [The current state of reform of the agro-industrial complex of Ukraine]. *Ahrarna nauka*, Kyiv : 46 (in Ukrainian).
6. Boiko P.I., Kovalenko, N.P., & Opara, M.M. (2004). Systemy zemlerobstva ta sivozmyny: istoriia, suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku [Systems of agriculture and crop rotation: history, current status and prospects]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahraanoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 3, 21–26 (in Ukrainian).
7. Bomba, M.Ia. (2007). Naukovi ta prykladni aspekty obrobitku gruntu v suchasnomu zemlerobstvi: monohrafiia [Scientific and applied aspects of tillage in modern agriculture: monograph]. Spolom, Lviv : 172 (in Ukrainian).
8. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2021 r. [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2021]. Ministerstvo rozvytku ekonomiky, torhivli ta silskoho hospodarstva Ukrainy. Kyiv. 2021. [Electronic resource]. Access mode: <https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/reiestr-sortiv-roslyn> (in Ukrainian).
9. DSTU 2730:2015. Yakist pryrodnoi vody dlia zroshennia. Ahronomichni kryterii [Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria]. (2016). Kyiv : DP “UkrNDNTs” (in Ukrainian).
10. DSTU 4362:2004 Yakist gruntu. Vyznachennia shchilnosti skladennia na sukhu masu [Soil Quality. Determination of Bulk Density on Dry Weight]. (2004). Kyiv: DP “UkrNDNTs” (in Ukrainian).
11. DSTU 4362:2004. Yakist gruntu. Pokaznyky rodiuchosti gruntiv [Soil Quality. Soil Fertility Indices] (2006). Kyiv, Derzhspozhyvstandart (in Ukrainian).
12. Filimonov, Yu.L., & Nahaiev, V.M. (2011). Tekhnolohichni i ekonomichni aspekty efektyvnosti system obrobitku gruntu [Technological and economic aspects of the efficiency of tillage systems]. *Visnyk KhNAU. Seriiia “Ekonomichni nauky”*, 4, 248–254 (in Ukrainian).
13. Gathala, M.K. & Timsina, J. (2014). Conservation agriculture based tillage and crop establishment options can maintain farmers’ yields and increase profits in South Asias’s rice-maize systems. *Evidence from Bangladesh Field Crops Research*. 85–98. doi: 10.1016/2014.12.003
14. Hospodarenko, H.M. (2002). Osnovy intehrovanooho zastosuvannia dobyrv: monohrafiia [Fundamentals of integrated fertilizer application: monograph]. Nehlava, Kyiv : 344 (in Ukrainian).
15. Hudz, V.P. & Prymak, I.D. et al. (2007). Adaptivni systemy zemlerobstva: pidruchnyk [Adaptive systems of agriculture: textbook]. Kyiv: Tsentri uchbovoi l–ry, 336 (in Ukrainian).
16. Hrabak, N.Kh. (2003). Optymizatsiia okremykh elementiv ahrotekhniki prosapnykh kultur v gruntozakhyssnomu zemlerobstvi [Optimization of individual elements of agrotechnics of row crops in soil-protective agriculture]. *Visnyk ahraanoi nauky Prychornomia*, 12, 99–103 (in Ukrainian).
17. Hryhorov, M.S. (2010). Vysokoeffektivnoe vnutrypochvennoe oroshenye [Highly efficient subsurface irrigation]. *Yzvestyia Nyzhnevolzhskoho ahrounyversytetskoho kompleksa*. 1, 3–5 (in Russian).
18. Kokovikhin, S.V., Zaveriukhin, V.I., & Suzdal, O.S. (2009). Efektyvnist rezhyviv zroshennia riznykh za skorostyhlituu sortiv soi v umovakh pivdnia Ukrainy [Efficiency of irrigation regimes of different precocious soybean varieties in the south of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 65, 135–144 (in Ukrainian).
19. Kosolap, N.P., & Krotynov A.P. (2011). Systemy zemlerobstva No-till: navchalnyi posibnyk [No-till farming systems: textbook]. Lohos. Kyiv (in Ukrainian).
20. Kravchuk, V., & Tarhonia, V. (2013). Biosfera i silskohospodarske vyrobnytstvo v Ukraini: rozvytok normatyvnoi bazy [Biosphere and agricultural production in Ukraine: the development of the regulatory framework]. *Tekhnika i tekhnolohii APK*. 6, 25–31 (in Ukrainian).

21. Lavrynenko, Yu.O., Hozh, O.A. & Vozhehova, R.A. (2016). Productivity of corn hybrids of different FAO groups depending on microfertilizers and growth stimulants under irrigation in the south of Ukraine. *Agricultural science and practice*, 1, 55–60. doi: DOI: 10.15407/agrisp3.01.055
22. Maliarchuk, M.P., Vozhehova, R.A., & Markovska, O.Ye. (2012). Formuvannya system osnovnoho obrobittu gruntu v ahrobiotsenozakh na meliorovanykh zemliakh pivdennoi posushlyvoi ta suchostepovoi gruntovo–ekolohichniy pidzon Ukrainy [Formation of systems of basic tillage in agrobiocenoses on reclaimed lands of the southern arid and dry steppe soil-ecological subzone of Ukraine]. *Ailant*, 1. Kherson, 80 (in Ukrainian).
23. Markovska, O.Ye. (2010). Produktivnist korotkorotatsiinoi prosapnoi sivozminy na zroshenni zalezho vid sposobiv i system osnovnoho obrobittu gruntu [Productivity of short-row crop rotation on irrigation depending on the methods and systems of basic tillage]. *Irrigated agriculture*, 53, 18–23 (in Ukrainian).
24. Morozov, O.V. (2013). Otsinka suchasnoho stanu zroshuvanykh gruntiv Khersonskoi oblasti [Assessment of the current state of irrigated soils of Kherson region. *Irrigation agriculture*]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 59, 131–134 (in Ukrainian).
25. Parajuli, P.B., Jayakody P., Sassenrath, G.F., Ouyang, Y., Pote, J.W. (2013) Assessing the impacts of crop-rotation and tillage on crop yields and sediment yield using a modeling approach. *Agricultural Water Management*. 119, 32–42. doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.010
26. Pysarenko, P.V. (2010). Produktivnist zroshuvanykh zemel' [Productivity of irrigated lands]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 54, 140–145 (in Ukrainian).
27. Saiko, V.F., & Malienko, A.M. (2007). Systemy obrobittu gruntu v Ukraini [Tillage systems in Ukraine]. Kyiv, EKMO, 44 (in Ukrainian).
28. Shykula, M.K., Antonets, S.S., & Andri, V.O (1998). Vidtvorennia rodiuchosti gruntiv u gruntozakhysnomu zemlerobstvi [Reproduction of soil fertility in soil protection agriculture]. *Oranta*, Kyiv, 608 (in Ukrainian).
29. Ushkarenko, V.O., Morozov V.V., Kolesnikov, V.V., Liashevskiy, V.I., & Tyshchenko, O.P. (2010). Heoinformatsiini systemy dlia upravlinnia zroshuvanymy zemliamy: navchalnyi posibnyk [Geographic information systems for irrigated land management: tutorial]. LT–Ofis, Kherson, 15 (in Ukrainian).
30. Vozhehova, R.A., Biliaieva, I.M., & Kokovikhin, S.V. (2017). Ekoloho–melioratyvni aspekty pidvyshchennia rodiuchosti ta produktivnosti zroshuvanykh gruntiv v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Ecological and reclamation aspects of increasing the fertility and productivity of irrigated soils in the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskiy naukoviy visnyk*, 97, 22–30 (in Ukrainian).
31. Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Yu.O., & Maliarchuk, M.P. (2014). Metodyka pol'ovykh i laboratornykh doslidzhen' na zroshuvanykh zemlyakh [Methods of field and laboratory research on irrigated lands]. Hrin' D.S., Kherson: 285 (in Ukrainian).
32. Vozhehova, R.A., Lavrynenko, Yu.O., & Pysarenko, P.V. et al (2013). Instruktisiia po operatyvnomu rozrakhunku polyvnykh rezhymiv ta prohnoz polyviv silskohospodarskykh kultur za defitsytom volohozapasiv [Methodical Recommendations on Planning and Executive Management of Irrigation Regimes in the Conditions of the South of Ukraine]. *Ailant*, Kherson: 46 (in Ukrainian)
33. Vozhehova, R.A., Holoborodko S.P., & Hranovska, L.M. (2013). Zroshennia v Ukraini: realii sohodennia ta perspektyvy vidrodzhennia [Irrigation in Ukraine: current realities and prospects of revival]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 60, 3–12. (in Ukrainian)
34. Zhuikov, H.Ye., & Dymov, O.M. (2004). Napriamy vykorystannia silskohospodarskykh zemel Khersonshchyny v poreformenyi period [Directions of use of agricultural lands of Kherson region in the post-reform period]. *Tavriiskiy naukoviy visnyk*, 31, 125–129 (in Ukrainian).

Maliarchuk M. P., Doctor (Agricultural Sciences), Senior researcher, Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Granovska L. M., Doctor (Economic Sciences), Professor, Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Pysarenko P. V., Doctor (Agricultural Sciences), Senior researcher, Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Maliarchuk A. S., PhD (Agricultural Sciences), Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine
Tomnitskiy A. V., PhD (Agricultural Sciences), Institute of Irrigated Agriculture NAAS, Kherson, Ukraine

Productivity of the row crop rotation at different systems of basic tillage and fertilizer in the conditions of irrigation of South of Ukraine

The results of experimental studies of the influence of various methods and depth of basic soil tillage against the background of three fertilization systems in crop rotation on the productivity of agricultural crops and the energy efficiency of technologies for their cultivation are covered in the article.

The purpose of the article was to define conformities to law of forming of agrophysics properties of dark-chestnut soil, productivity of agricultural cultures of 4-fields crop rotation, to economic and power efficiency of technologies of their growing on a background the minimized systems of basic tillage and fertilizer in the conditions of irrigation of South of Ukraine. Methods: field, quantitative-weight, visual, laboratory, computational-comparative and mathematical-statistical methods using generally recognized in Ukraine methods and guidelines Results. System of the basic differentiated tillage which is based on plowless shallow tillage which combines with one slotting on 38–40 cm for a rotary press on a background provided the power cost cutting as compared to the different depth ploughing on 53,5% and assisted optimization of agrophysics properties and water mode of soil, creating terms for realization of the genetically conditioned potential of productivity of sorts and hybrids.

On average, over the years of research, it was established that the highest yield in crop rotation was ensured by the application of fertilizers with a dose of $N_{120}P_{60}$ per hectare of crop rotation area, against the background of plowing on different depths and differentiated systems of basic tillage. Thus, the yield of grain corn was, respectively, 14,44 and 14.82 t/ha, soybean – 4,31 and 4,34 t/ha, winter wheat 6,81 and 6,90 t/ha and grain sorghum – 7,09 and 7,70 t/ha

The lowest technological costs were established in the version with disc-tillage by 12–14 cm in the system at the single-depth basic tillage without mineral fertilizers – 53,2 GJ/ha.

Conclusion: the highest productivity on the energy capacity of harvest of crops of crop rotation was provided by differentiated - 1 system of basic tillage with one slotting (38-40 cm) for a crop rotation on a background the organo-mineral system of fertilizer with the use of side products of cultures of crop rotation and dose of mineral fertilizers of $N_{120}P_{60}$ with an index 159,5 GJ and power coefficient 2,05.

Key words: *system, method and depth of soil tillage, bulk density, water permeability, energy intensity.*

Дата надходження до редакції: 16.12.2021 р.